



**Ústav stavebníctva a architektúry
Slovenskej akadémie vied**

Dúbravská cesta 9, 845 03 Bratislava

**„PODKLADY PRE NAVRHOVANIE KONŠTRUKCIÍ NA
ÚČINKY ZAŤAŽENIA SNEHOM“**

VEDÚCI ÚLOHY VÝSKUMU A VÝVOJA:

Ing. Zoltán Sadovský, DrSc.

SPOLURIEŠITELIA:

RNDr. Pavol Faško, CSc.

Mgr. Katarína Mikulová, PhD.

Mgr. Jozef Pecho

RNDr. Mária Tekušová, CSc.

Bratislava, november 2010

OBSAH

	strana
1. ÚVOD	3
2. ETAPA 02: Štúdia zostavenia novej a porovnanie novej a starej mapy charakteristických zaťažení snehom S_k , zostavenie základnej mapy zonálnych závislostí S_k na nadmorskej výške	5
3. ETAPA 03: Analýza mimoriadnych zaťažení snehom na území Slovenska a zostavenie základnej mapy oblastí možného výskytu a intenzity	11
4. ETAPA 04: Výpočty kombinačných súčiniteľov ψ_1 a ψ_2 pre časté a kvázistále zaťaženie snehom	29
5. ETAPA 05: Optimalizácia parciálneho súčiniteľa γ_S a kombinačného súčiniteľa ψ_0 pre sneh na základe spracovaných klimatických údajov na reprezentatívnych staniách	31
6. ETAPA 06: Transformácia námrazovej mapy z r. 1980 na súčasnú definíciu charakteristických hodnôt. Sumarizovanie dostupných meraní a pozorovaní námrazy a hodnotenie ich použiteľnosti pre zostavenie novej mapy.	48
7. LITERATÚRA	58
8. VYUŽITIE VÝSLEDKOV RIEŠENIA ÚLOHY VÝSKUMU A VÝVOJA	60

1. ÚVOD

Riešenie predmetnej úlohy výskumu a vývoja (VaV) s názvom „Podklady pre navrhovanie konštrukcií na účinky zaťaženia snehom“ zabezpečil zhotoviteľ – Ústav stavebníctva a architektúry Slovenskej akadémie vied podľa zmluvy o dielo Ev. č. obj. 78/550/2010 na základe zadania Ministerstva výstavby a regionálneho rozvoja SR ako objednávateľa úlohy VaV.

Ciele riešenia úlohy VaV

Základným cieľom riešenia úlohy VaV je analýza dlhodobých klimatických meraní na Slovensku z hľadiska navrhovania konštrukcií na účinky zaťaženia snehom v kontexte súčasných poznatkov teórie spoľahlivosti konštrukcií a aplikácie matematickej štatistiky.

Ďalším cieľom riešenia je spracovanie analýzy do formy podkladov pre navrhovanie konštrukcií a na účely normalizácie.

Realizačným cieľom úlohy VaV je návrh spôsobu a formy využitia získaných výsledkov v národných prílohách k STN EN 1991-1-3 Všeobecné zaťaženia. Zaťaženia snehom (2007) a STN EN 1990 Zásady navrhovania konštrukcií (2009) a návrh aktualizácie námrazovej mapy v národnej prílohe k STN EN 1991-1-4 Všeobecné zaťaženia. Zaťaženie vetrom v STN EN 1991-1-4/NA/Z1: 2010.

Súčasný stav normalizácie v predmetnej oblasti

STN EN 1991-1-3 Všeobecné zaťaženia. Zaťaženia snehom (2007) umožňuje národnú voľbu:

CHARAKTERISTICKÝCH ZAŤAŽENÍ S_k vo forme

- a) Mapy snehových oblastí
- b) Funkčných závislostí S_k na nadmorskej výške a zóne

ČASTÝCH ZAŤAŽENÍ $\psi_1 S_k$ t.j. kombinačného súčiniteľa ψ_1

KVÁZISTÁLÝCH ZAŤAŽENÍ $\psi_2 S_k$ t.j. kombinačného súčiniteľa ψ_2

KOMBINAČNÉHO SÚČINITELĽA PREMENNÝCH ZAŤAŽENÍ ψ_0

MIMORIADNYCH ZAŤAŽENÍ S_A , napríklad ako k násobku charakteristickej hodnoty, t.j.
 $S_A = k \times S_k$

Národná príloha k STN EN 1991-1-3 (2004) rieši tieto voliteľné údaje nasledovne:

CHARAKTERISTICKÉ ZAŤAŽENIA S_k sú dané

- a) Transformáciou snehovej mapy z ČSN 73 0035 (1988), ktorá bola zostavená v polovici sedemdesiatych rokov a na Slovensku upravovaná v roku 1986 na základe meraní meteorologických staníc v bývalej ČSR od zimy 1946/47 až po zimu 1970/71. Charakteristické zaťaženia pôvodnej mapy zodpovedajúce (odhadom) strednej dobe návratu 10 rokov [1] sa na eurokódmi požadovaných 50 rokov transformovali približne - pre násobením konštantou 1,5.
- b) Funkčné závislosti S_k na nadmorskej výške a zóne nie sú stanovené.

KOMBINAČNÉ SÚČINITELE ψ_1 , ψ_2 a ψ_0

NA preberá konzervatívne hodnoty súčiniteľov ψ_1 , ψ_2 odporúčané v EN 1991-1-3 pre severské krajiny a pre horské oblasti nad 1000 m nadmorskej výšky v iných krajinách CEN, keďže v čase prípravy NA nebola zostavená databáza denných hodnôt vodného ekvivalentu (SWE) snehovej pokrývky, na základe ktorej sa súčinitele počítajú. Nie sú známe podklady pre stanovenie národnej hodnoty ψ_0 .

MIMORIADNE ZAŤAŽENIA sa nešpecifikujú, NA odkazuje na konzultácie s SHMÚ. Jedinou NA v ktorej sa uvádzajú mimoriadne zaťaženia je francúzska „Annexe nationale à la NF EN 1991-1-3:2004“. Pre vybrané kantóny sú stanovené konštantné hodnoty mimoriadneho zaťaženia nezávisle na variáciách nadmorskej výšky v kantóne. V podkladoch k EN 1991-1-3 z roku 1998 [2] sa robí orientačný výpočet podielov fraktíl Gumbelovho rozdelenia a to 99,9 % a 99,99 % fraktíl s 98 % fraktílom – charakteristickou hodnotou pri variačnom koeficiente $V_S = 0,6$; čo je priemerná hodnota z meraní v Nemecku. Vzhľadom na German Reactor Safety Rules for Nuclear Stations a UK Design Standards for Nuclear Structures, ktoré uplatňujú 10000 rokov pre prírodné udalosti a porovnaním podmienok návrhových situácií sa ako pragmatické hľadisko naznačuje použitie dvojnásobku charakteristického zaťaženia pre mimoriadne návrhové situácie.

STN EN 1990 Zásady navrhovania konštrukcií (2009) umožňuje národnú voľbu:

PARCIÁLNYCH SÚČINITEĽOV KLIMATICKÝCH ZAŤAŽENÍ γ_s a γ_w pre sneh a vietor.

Národná príloha k STN EN 1990 (2004) bola zrušená, používajú sa eurokódmi odporúčané hodnoty: $\gamma_s = \gamma_w = 1,5$.

STN EN 1991-1-4 Všeobecné zaťaženia. Zaťaženie vetrom v STN EN 1991-1-4/NA/Z1: 2010

preberá námrazovú mapu z ČSN 73 0035 (1988), mapa bola zostavená v roku 1980. Charakteristické hodnoty majú strednú dobu návratu 5 a 10 rokov oproti 50 rokom požadovaným v eurokódoch (EN 1990) pre klimatické zaťaženia. V eurokódoch zatiaľ problematika námrazy nie je riešená a prispôsobenie námrazových máp na novú definíciu je úlohou jednotlivých členských krajín CEN.

Obsahové zameranie úlohy VaV

Predmetná úloha VaV „Podklady pre navrhovanie konštrukcií na účinky zaťaženia snehom“ má priebežne reagovať na potreby normalizácie navrhovania konštrukcií a to aktualizáciou snehovej mapy v oboch alternatívach a námrazovej mapy, zostavením mapy mimoriadnych zaťažení snehom a návrhom národných hodnôt súvisiacich súčiniteľov. Ide najmä o zabezpečenie riešenia týchto špecifických problémových okruhov:

- Aktualizácia mapy charakteristických zaťažení snehom S_k , a zostavenie mapy zonálnych závislostí S_k na nadmorskej výške
- Analýza mimoriadnych zaťažení snehom a návrh ich implementácie do normy
- Výpočty súčiniteľov častého a kvázistáleho zaťaženia snehom
- Optimalizácia parciálneho a kombinačného súčiniteľa klimatických zaťažení na reprezentatívnych staniciach
- Aktualizácia námrazovej mapy a sumarizovanie dostupných meraní námrazy

Predmet skúmania je rozdelený do piatich čiastkových úloh, resp. etáp riešenia úlohy VaV.

2. ETAPA 02: Štúdia zostavenia novej a porovnanie novej a starej mapy charakteristických zaťažení snehom S_k , zostavenie základnej mapy zonálnych závislostí S_k na nadmorskej výške

Podetapa 2.1 *Charakteristické zaťaženia na meteorologických stanicich a zonácia*

Podetapa 2.2 *Mapy charakteristických zaťažení*

Podetapa 2.3 *Porovnanie máp charakteristických zaťažení*

Charakteristické zaťaženie snehom na povrchu zeme S_k sa v eurokóde EN 1990: Basis of Structural Design definuje ako 98%-ný fraktíl rozdelenia pravdepodobnosti ročných maxím. Empirická distribučná funkcia ročných maxím zaťaženia snehom sa aproximuje niektorým z teoretických rozdelení extrémnych hodnôt. Na základe testovania gama rozdelenia, Gumbelovo, Weibulovo pre minimá a logaritnicko-normálneho rozdelenia na záznamoch z ôsmich reprezentatívnych staníc na Slovensku sa ako najvhodnejšia vybrala distribučná funkcia Gumbelovho rozdelenia a metóda momentov na odhad parametrov rozdelenia [3 a 4]. Základnými údajmi na zostavenie mapy zaťaženia snehom sú charakteristické hodnoty S_k počítané z databázy denných hodnôt vodného ekvivalentu snehovej pokrývky (SWE) na 55 klimatologických stanicich odvodenej v rámci projektu APVV, pozri [6]. SWE sa vyjadruje v milimetroch, stotina tejto hodnoty predstavuje ekvivalentné zaťaženie snehom v kN/m².

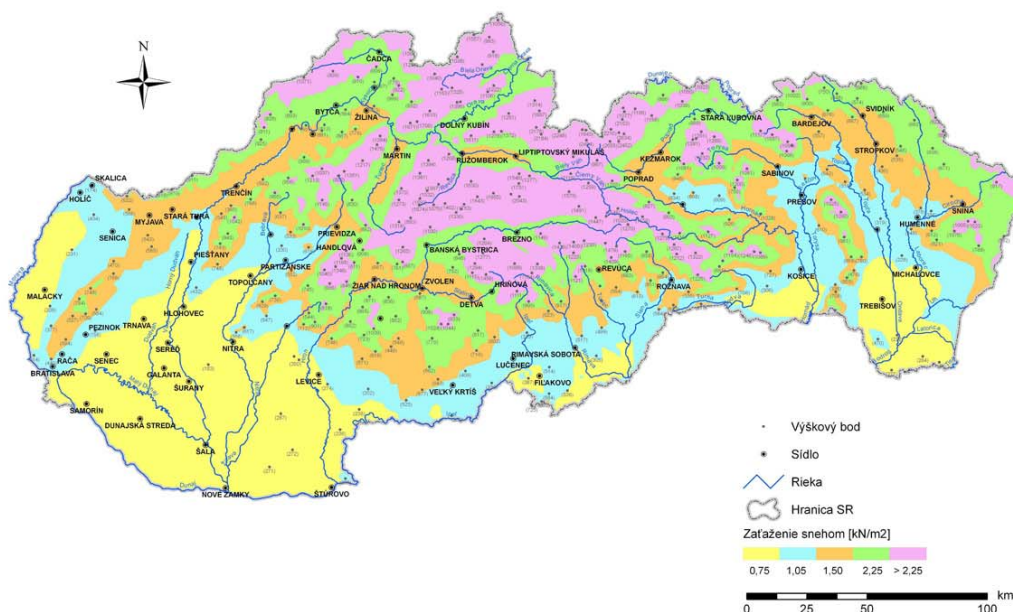
V rokoch, keď sa denné hodnoty nedali zostaviť (neúplné alebo chýbajúce záznamy), použili sa namerané hodnoty SWE. Získali sa tak súvislé štatistické rady ročných extrémov do zimy 2005/2006, ktoré na niektorých stanicich začínali od začiatku roka 1951.

Pri výpočte charakteristických zaťažení sa prihliadalo na významné trendy a mimoriadne snehové zrážky na jednotlivých stanicich [3 a 5]. Z dôvodu rastového trendu zaťaženia sa tak na horských stanicich Oravská Lesná a Štrbské pleso zvýšila charakteristická hodnota o 0,33; resp. 0,40 kN/m². Vyňatie mimoriadneho zaťaženia zo štatistického radu ročných maxím [2] má za následok zníženie charakteristickej hodnoty S_k a tým väčšiu hospodárnosť pri navrhovaní podľa podmienky pre trvalú a prechodnú návrhovú situáciu. Na základe analýzy extrémov ročných maxím zaťaženia snehom v regiónoch sa odvodené mimoriadne zaťaženia snehom aplikujú v podmienke pre mimoriadnu návrhovú situáciu ako násobok charakteristickej hodnoty.

Na stanicich, kde boli k dispozícii len namerané SWE, t.j. na 605 (= 660 – 55) stanicich, sa charakteristické zaťaženia počítali z databázy ročných maxím zaťaženia snehom zostavenej z meraní v rokoch 1954/1955 až 2005/2006 rovnako s testovaním a uvažovaním mimoriadnych

zaťaženi. Tieto charakteristické zaťaženia sa potom korigovali na základe interpolácie odchýlok S_k z denných SWE a nameraných SWE na 55 klimatologických stanicich. Účelom korekcie je využitie charakteristických zaťažení z databázy meraní na 605 stanicich ako pomocných hodnôt pri spracovávaní mapy zaťaženi snehom a regionálnych závislostí S_k na nadmorskej výške.

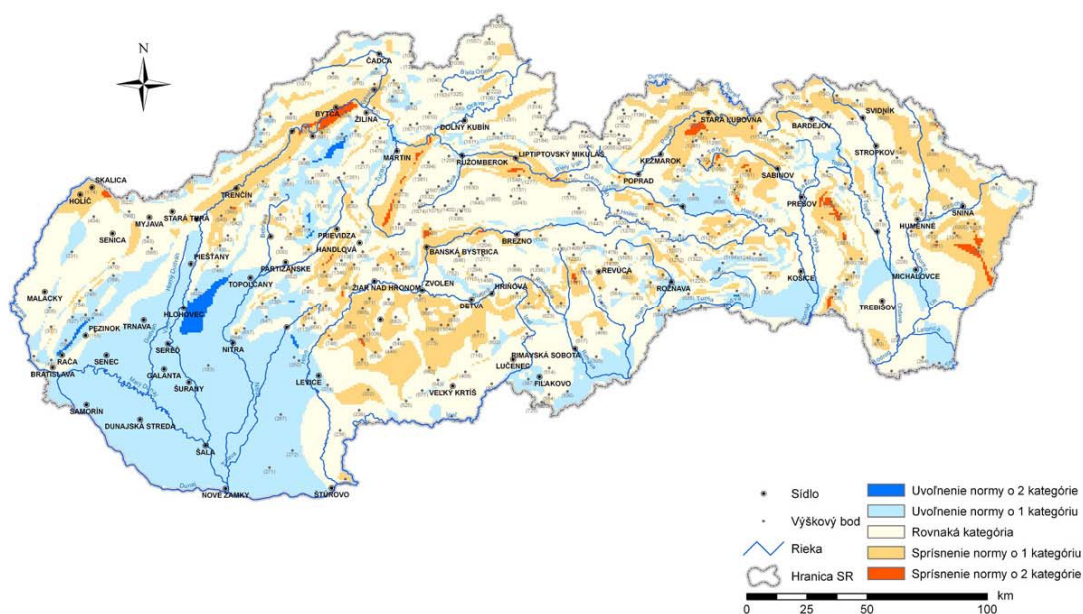
Mapa snehových oblastí (obrázok 2.1) odstupňovaných podľa kategórií charakteristických hodnôt zaťaženi snehom S_k na povrchu zeme sa spracovala v prostredí GIS GRASS. Kategorizácia oblastí použitá v STN EN 1991-1-3 (2004) sa nemenila. Aplikovala sa interpolačná metóda 3D splajnu s tenziou s využitím digitálneho modelu terénu DEM 50. Z dôvodu presnejšej interpolácie sa pridali virtuálne stanice najmä vo vyšších a vrcholových polohách hôr, kde chýbajú priame merania. Návrh týchto staníc sa robil expertnou analýzou [7] a hodnoty S_k sa doplnili na základe regresnej analýzy SWE nameraných na okolitých stanicich a nadmorskej výšky. Mapa sa na možné použitie v norme pre zaťaženi snehom upravovala vzhľadovo zahladením hraníc jednotlivých oblastí a vyznačením vodných tokov, sídiel a výškových bodov.



Obrázok 2.1. Mapa oblastí charakteristických zaťažení snehom na povrchu zeme.

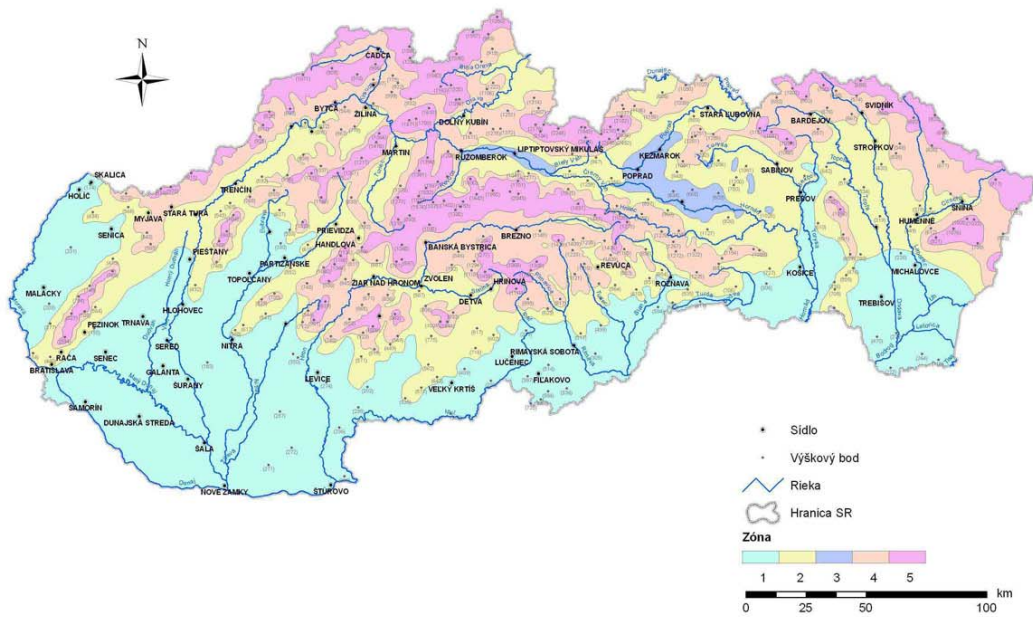
Porovnanie novej mapy snehových oblastí s mapou z STN NA EN 1991-1-3 (2004) je zobrazené mapou na ktorej sú vymedzené oblasti s rovnakou, vyššou alebo nižšou kategóriou

charakteristických zaťažení, obrázok 2.2. Z mapy je zrejmé, kde sa charakteristické zaťaženie nemenilo, resp. kde prišlo ku sprísneniu alebo uvoľneniu súčasnej normy.



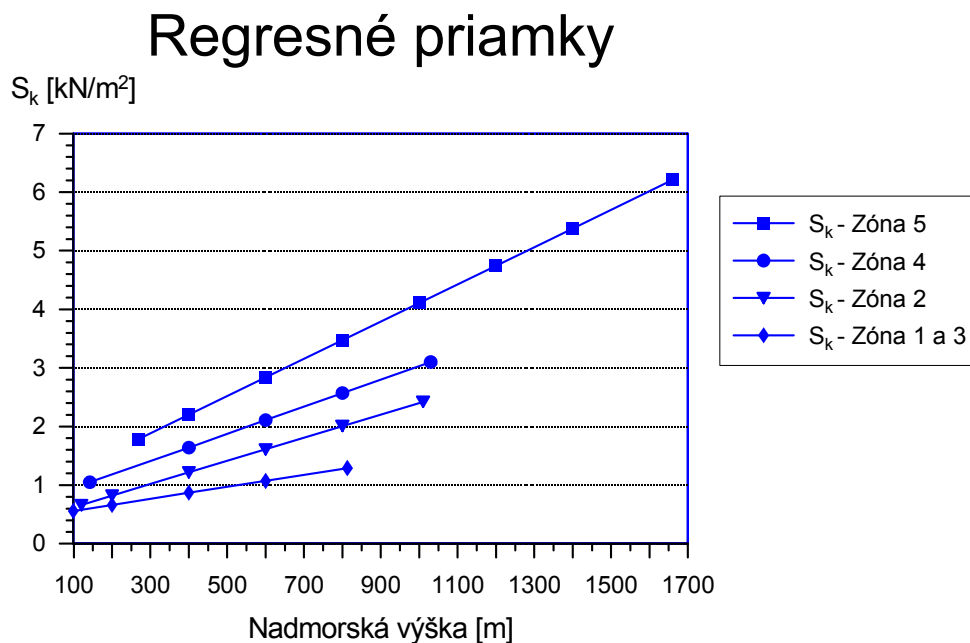
Obrázok 2.2. Porovnanie novej mapy snehových oblastí s mapou z STN NA EN 1991-1-3 (2004).

Funkčné závislosti charakteristických zaťažení snehom na povrchu zeme od nadmorskej výšky sa odvodzovali regresnou analýzou v každej z piatich zón vyznačených na **mape zón**, obrázok 2.3. Zóny sa určili na základe podkladov o geomorfologickom členení územia Slovenska, klimatických podmienok s prihliadnutím na veľkosti rozdielov medzi charakteristickými zaťažovacími a regresnou priamkou. Použila sa lineárna regresia, pozri [2]. Zónam 1 a 3 vyhovuje spoločná regresná priamka. Dôvodom rozlíšenia zón je klimatologické hľadisko, keď zóna 1 zodpovedá nížinným oblastiam a zóna 3 horským kotlinám s vyššími nadmorskými výškami a odlišnými príčinami relatívne nižších hladín zaťažovací snehom. Aproximácia regresnými priamkami v jednotlivých zónach je dobrá, výrazne sa odlišuje len vysoká charakteristická hodnota na stanici Oravská Lesná a to platí aj ak by nebol uplatnený trend ročných maxím. Z klimatologického hľadiska je tam v zime veľa zrážok, takmer porovnateľne veľa ako v lete, čo na Slovensku všeobecne neplatí.



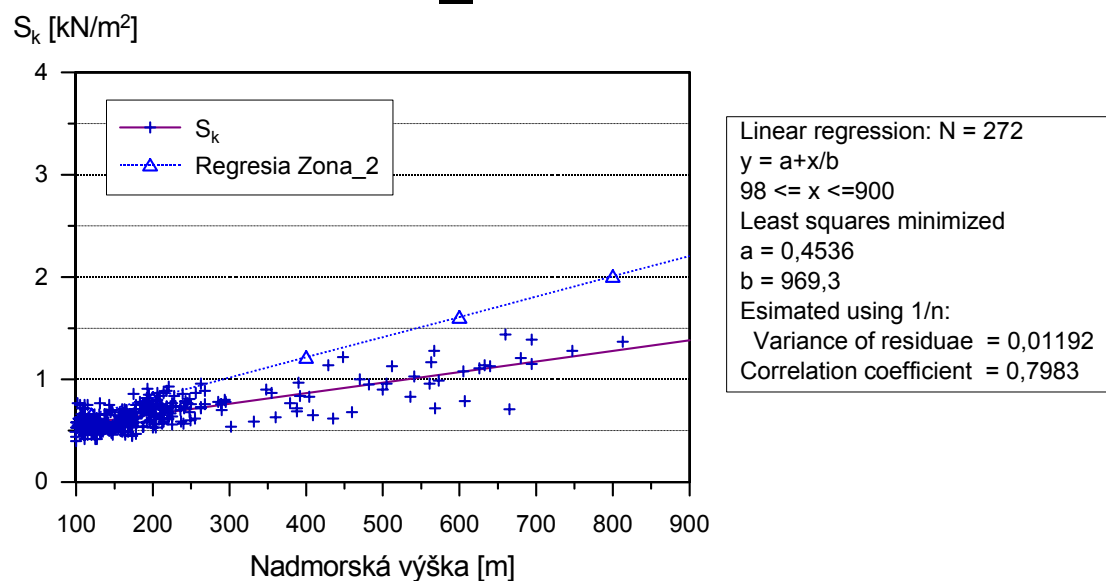
Obrázok 2.3. Mapa zón.

Porovnanie regresných priamok vynesných v intervaloch nadmorských výšok príslušných staníc na obrázku 2.4, poskytuje predstavu o odstupňovaní hladín charakteristických zaťažení snehom na povrchu zeme. Obrázky 2.5 až 2.7 ukazujú, že body S_k / **nadmorská výška** v zóne sú zhora približne ohraničené regresnou čiarou nasledujúcej vyššej zóny.



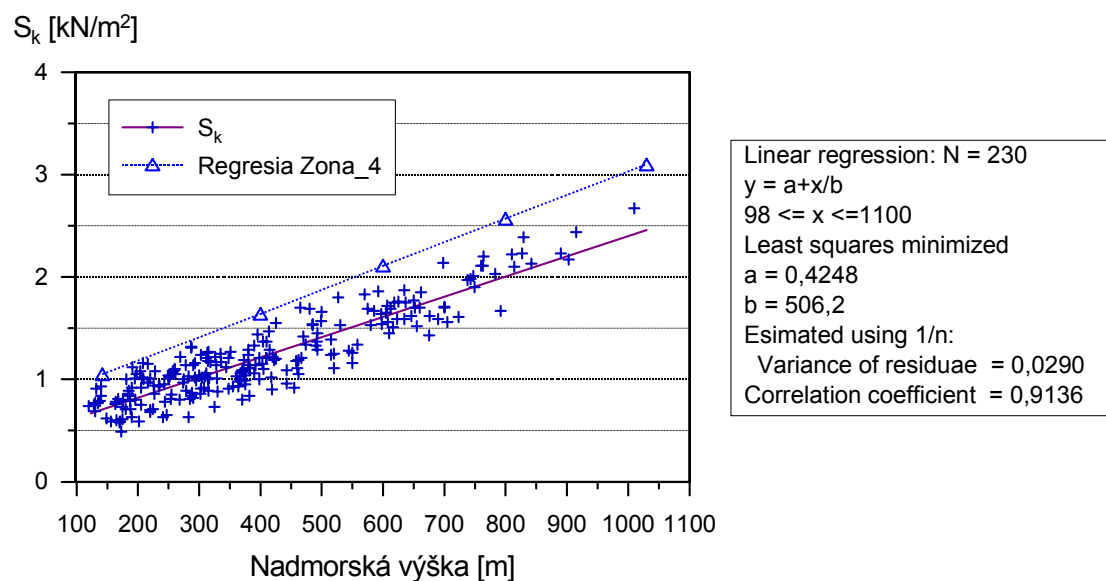
Obrázok 2.4. Regresné priamky závislostí S_k na nadmorskej výške v zónach 1 až 5.

Zóna 1_3



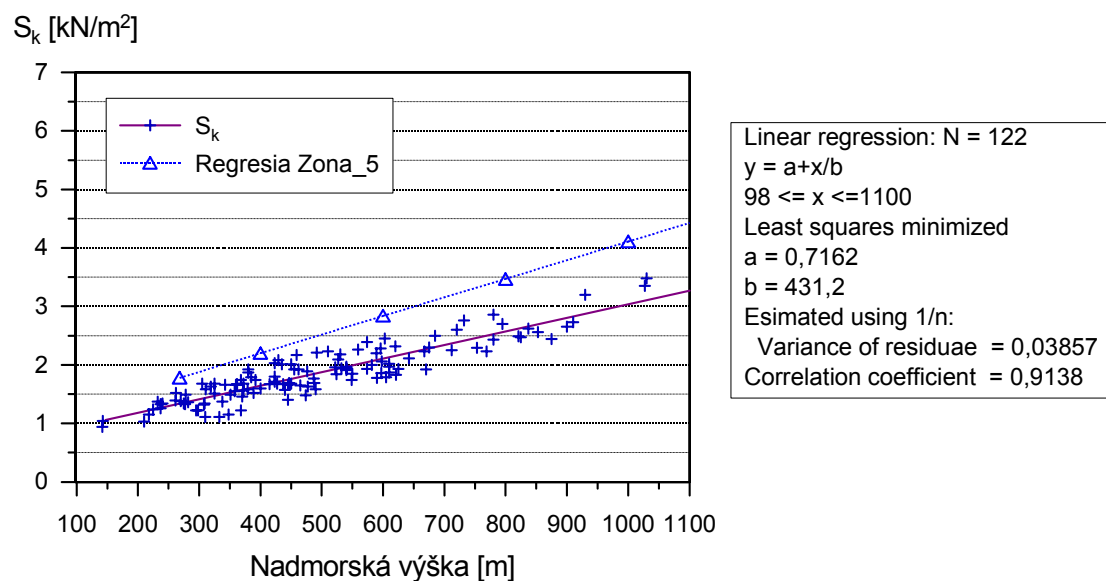
Obrázok 2.5. Porovnanie regresie v zónach 1 a 3 s regresnou priamkou v zóne 2.

Zóna 2



Obrázok 2.6. Porovnanie regresie v zóne 2 s regresnou priamkou v zóne 4.

Zóna 4



Obrázok 2.7. Porovnanie regresie v zóne 4 s regresnou priamkou v zóne 5.

3. ETAPA 03: Analýza mimoriadnych zaťažení snehom na území Slovenska a zostavenie základnej mapy oblastí možného výskytu a intenzity

Podetapa 3.1 *Mimoriadne zaťaženia na meteorologických stanicach a regionalizácia*

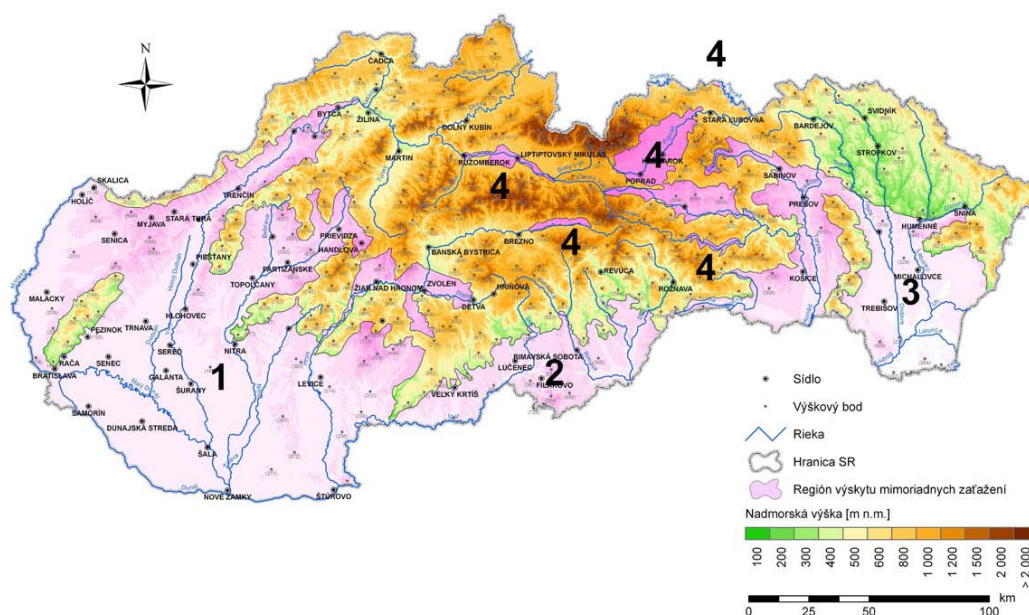
Podetapa 3.2 *Fraktily súčiniteľov mimoriadnych zaťažení pre regióny, mapa regiónov*

Podetapa 3.3 *Trvalé/prechodné a mimoriadne návrhové situácie*

Mimoriadne zaťaženie snehom na povrchu zeme S_A sa v podkladoch k EN 1991-1-3 z roku 1998 [2] definuje ako extrémna hodnota ročných maxím nasledovne: „Ak pomer najväčšieho zaťaženia ku charakteristickej hodnote vyhodnotenej bez uváženia tohto zaťaženia je väčší ako 1,5, tak maximálnu hodnotu treba považovať za mimoriadne zaťaženie.“. Mimoriadne zaťaženia sa analyzovali vo forme k násobku charakteristickej hodnoty, t.j. $S_A = k \times S_k$. Vo výnimočných prípadoch sa zo štatistického radu ročných maxím odobralo aj druhé najväčšie ročné maximum. Druhý extrém sa uplatňuje len ak súčiniteľ významnejšie prekračuje 1,5 a rozdiel medzi prvým a druhým extrémom je menej ako cca 8 %.

Na určenie súčiniteľov mimoriadnych zaťažení snehom k sa navrhla nová metóda [8] analýzy hodnôt k prekračujúcich stanovený prah. Metóda spája inžinierske a klimatologické aspekty riešenia problému. Na základe identifikácie miest výskytu mimoriadnych snehových zrážok na Slovensku sa klimatologickou expertízou stanovili **regióny výskytu mimoriadnych**

zaťaženie snehom. Jednotlivé regióny pokrývajú územia s podobnými klimatologickými podmienkami na výskyt mimoriadnych snehových zrážok. **Mapa regiónov** s číselnou identifikáciou od 1 po 4 je na obrázku 3.1. Regióny s častejším výskytom krajných hodnôt SWE sa na Slovensku sústreďujú do oblastí, kde z hľadiska dlhodobého výskytu sú registrované prevažne nižšie hodnoty SWE. Sporadicky sa tam však niekedy zaznamenávajú aj vysoké hodnoty. Tieto neštandardné hodnoty preto treba chápať ako relatívne, pretože najvyššie hodnoty SWE sú na Slovensku zaznamenané mimo týchto regiónov. Vymedzené regióny obsahujú predovšetkým nížiny, ale aj kotliny s výraznejšou kontinentálnou klímou, ktorá v zime spôsobuje menej zrážok.



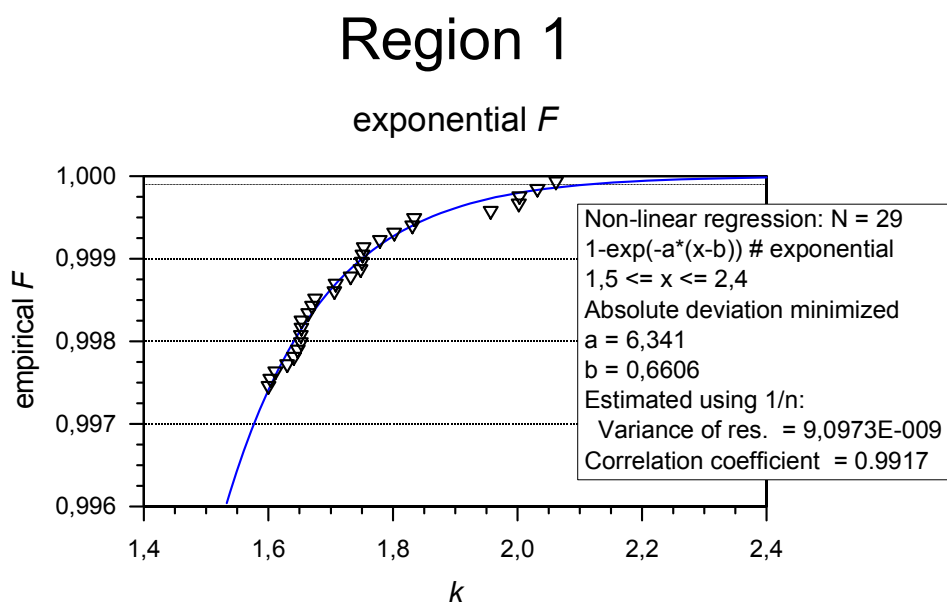
Obrázok 3.1. Mapa regiónov mimoriadnych zaťažení.

Vyhodnotenie mimoriadnych snehových zrážok sa robí oddelene v jednotlivých súvislých regiónoch 1, 2 a 3. Horské kotliny sa vyhodnocujú ako jeden región označený na obrázku 3.1 číslicou 4. V rámci jedného regiónu sa súčinitele mimoriadnych zaťažení považujú za súčasť imaginárnej populácie súčiniteľov k_i , ktorej počet N_R je daný počtom zistených ročných maxim na všetkých staniách regiónu. Myslená populácia sa skladá z podielov ročných maxim ku „charakteristickým hodnotám“ vyčísleným bez tohto maxima na jednotlivých staniách regiónu. Súčinitele mimoriadnych zaťažení predstavujú hornú časť usporiadaného súboru hodnôt k_i . Táto myšlienka umožňuje zostaviť horný chvost empirickej distribučnej funkcie $F(k_i)$, zodpovedajúci N mimoriadnym zaťaženiam, t.j. N usporiadaným hodnotám k_i prekračujúcim daný prah.

Na určenie súčiniteľov mimoriadnych zaťažení so strednou dobou návratu rovnou 1000 a 10000 rokov, t.j. 99,9 % and 99,99 % fraktilov $F(k_i)$, sa horný chvost aproximuje teoretickými distribučnými funkciami: Pareto $P(\lambda, a)$ pdf a exponenciálnou $\text{Exp}(a, b)$ pdf. Touto voľbou sa pokrývajú alternatívy tzv. ťažkého a ľahkého chvosta.

Aproximácia sa robí nelineárnou regresiou prostriedkami grafického softvéru Xact (SciLab GmbH). Procedúry umožňujú minimalizáciu odchýlok metódou najmenších štvorcov alebo absolútnych odchýlok pomocou Levenberg-Marquardt alebo tzv. „Downhill simplex“ algoritmu. Kvalita aproximácie sa porovnáva veľkosťou koeficienta korelácie daného druhou odmocninou koeficienta determinácie a vizuálnym testom. Z výsledkov regresie sa uvádza aj disperzia reziduí.

V **regióne 1** bolo z celého súboru s rozsahom $N_R = 11304$ zistených 39 hodnôt k_i prekračujúcich prah 1,5. Najvyššia hodnota koeficienta korelácie sa dosiahla pre exponenciálne rozdelenie s minimalizáciou odchýlok metódou najmenších štvorcov. Ukázalo sa však, že v rozhodujúcej hornej časti je empirická distribučná funkcia horšie vystihnutá teoretickou pdf. Na vylúčenie časti dolných hodnôt sa prah zvýšil na 1,6. Najlepšie priblíženie opäť dáva exponenciálne rozdelenie tentoraz s minimalizáciou absolútnych odchýlok, obrázok 3.2. Koeficient korelácie sa zvýšil na 0,9917. V tabuľke 3.1 sú uvedené 99,9 % a 99,99 % fraktily pre prah 1,6 a teoretické pdf s najlepším priblížením.

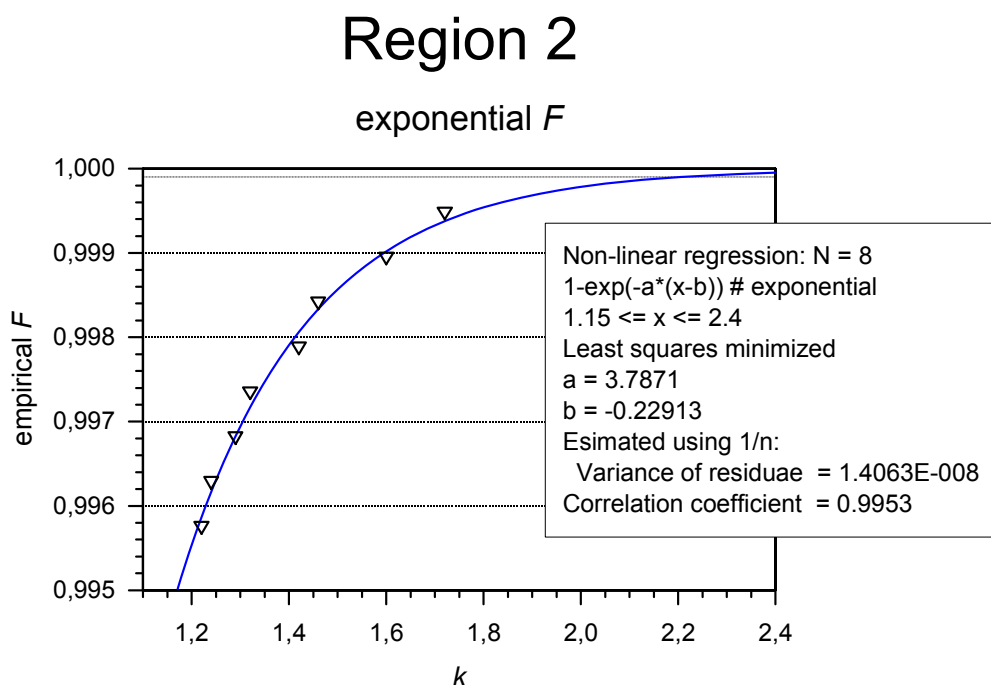


Obrázok 3.2. Región 1, nelineárna regresia chvosta $F(k_i)$ pre $k_i > 1,6$; exponenciálna pdf.

Tabuľka 3.1. Región 1, fraktily Pareto a exponenciálnej pdf, $N_R = 11304$, $N = 29$, $k_i > 1,6$.

Fraktíl	99,9 %	99,99 %	r
Pareto pdf (Least squares)	1,76	2,19	0,9915
Exponential pdf (Abs. deviation)	1,75	2,11	0,9917

V **regióne 2** boli z celého súboru s rozsahom $N_R = 1876$ nájdené len 2 hodnoty k_i prekračujúce prah 1,5. Po znížení prahu na hladinu 1,2 sa počet prekročení zvýšil na $N = 8$. V prospech voľby exponenciálnej distribučnej funkcie, obrázok 3.3 hovorí vyššia hodnota koeficienta korelácie a vizuálny vnem. V tabuľke 3.2 sú uvedené 99,9 % a 99,99 % fraktily pre obidve teoretické pdf. Odporúčané hodnoty sú vytlačené tučným písmom.



Obrázok 3.3. Región 2, nelineárna regresia chvosta $F(k_i)$ pre $k_i > 1,2$; exponenciálna pdf.

Tabuľka 3.2. Región 2, fraktily Pareto a exponenciálnej pdf, $N_R = 1876$, $N = 8$, $k_i > 1,2$.

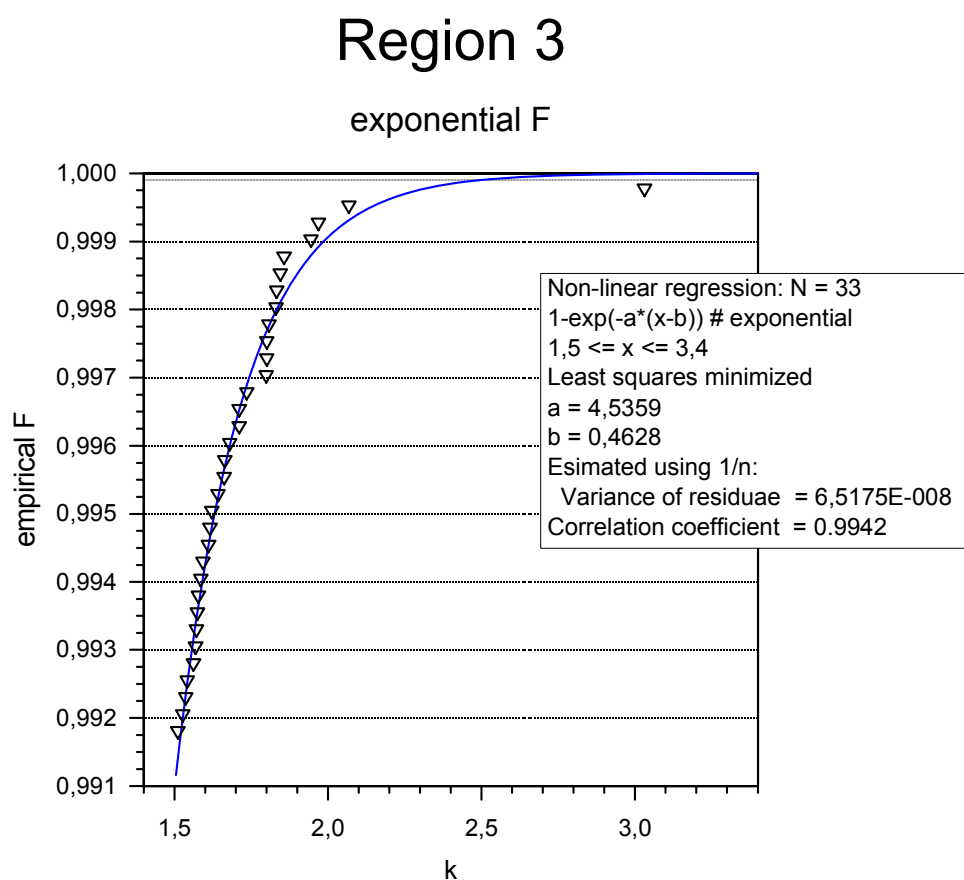
Fraktíl	99,9 %	99,99 %	r
Pareto pdf (Least squares)	1,61	2,50	0.9949
Exponential pdf (Least squares)	1.60	2,20	0.9953

V **regióne 3** bolo zo súboru s rozsahom $N_R = 4014$ nájdených 33 hodnôt k_i prekračujúcich prah 1,5. Na rozdiel od ostatných regiónov sa tu vyskytla osamelá vysoká hodnota: $k = 3,03$. Na obrázku 3.4 sú výsledky nelineárnej regresie s exponenciálnou distribučnou funkciou.

Osamelá hodnota zrejme narušuje regresiu vcelku kompaktného súboru, najmä pri Pareto pdf. Zvýšenie prahu na 1,7 potlačilo stabilizujúci vplyv dolných hodnôt a aproximácia sa znateľne zhoršila $r \in (0,963;0,966)$. V tabuľke 3.3 sú uvedené 99,9 % a 99,99 % fraktily pre obidve teoretické pdf a $k_i > 1,5$. Odporúčané hodnoty sú vytlačené tučným písmom.

Tabuľka 3.3. Región 3, fraktily Pareto a exponenciálnej pdf, $N_R = 4014$, $N = 33$, $k_i > 1,5$.

Fraktíl	99,9 %	99,99 %	r
Pareto pdf (Least squares)	2,02	2,74	0.9949
Exponential pdf (Least squares)	1.99	2,49	0.9953



Obrázok 3.4. Región 3, nelineárna regresia chvosta $F(k_i)$ pre $k_i > 1,5$; exponenciálna pdf.

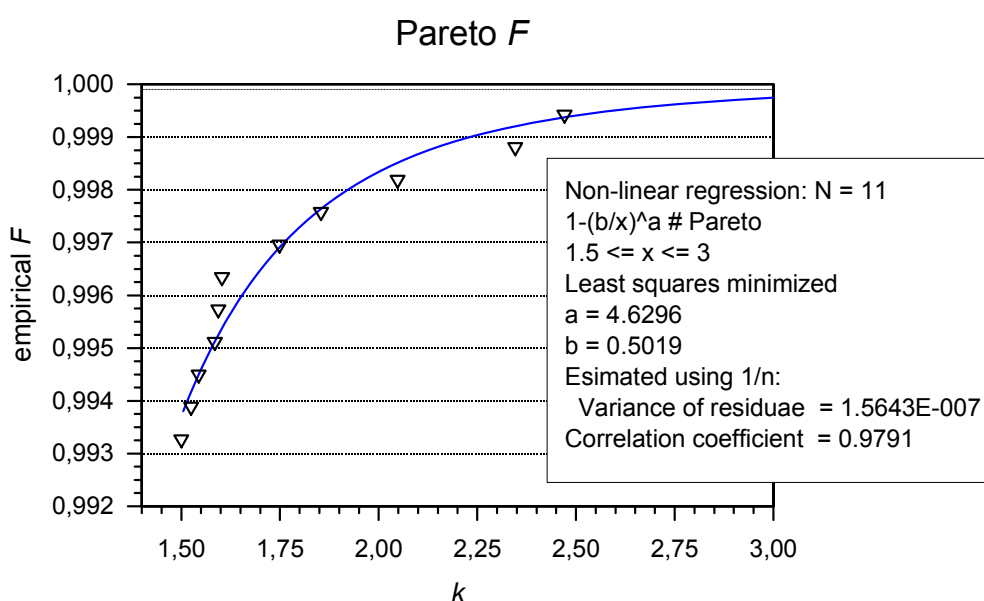
V zloženom regióne 4 s rozsahom $N_R = 1624$ celého súboru bolo zistených 11 hodnôt k_i prekračujúcich prah 1,5. Vyšší koeficient korelácie a reálnejší priebeh v hornej časti chvosta poskytuje Pareto pdf, obrázok 3.5. Analýza pri nižšom prahu $k_i > 1,3$ ($N = 17$) zdvihla koeficient korelácie pri aproximácii exponenciálnou pdf na úroveň Pareto pdf, avšak priebeh hornej časti chvosta a odhad vyššieho fraktilu sa zhoršil. V tabuľke 3.4 sú 99,9 % a 99,99 %

fraktily pre prah 1,5 a teoretické pdf s najlepším priblížením. Odporúčané hodnoty sú vytlačené tučným písmom.

Tab. 3.4. Región 4, fraktily Pareto a exponenciálnej pdf, $N_R = 1624$, $N = 11$, $k_i > 1,5$.

Fraktíl	99,9 %	99,99 %	r
Pareto pdf (Least squares)	2,23	3,67	0.9791
Exponential pdf (Least squares)	2.19	3,06	0.9725

Region 4



Obrázok 3.5. Región 4, nelineárna regresia chvosta $F(k_i)$ pre $k_i > 1,5$; Pareto pdf.

Výsledky analýzy súčiniteľa k uvádzané v tabuľkách 3.1 až 3.4 ukazujú malú závislosť súčiniteľa pre strednú dobu návratu 1000 rokov na voľbe pdf s ťažkým alebo ľahkým chvostom. Pre navrhovanie konštrukcií dôležitý 99,99 % fraktíl k zodpovedajúci strednej dobe návratu 10000 rokov sa môže významne líšiť pre jednotlivé regióny.

Navrhované hodnoty súčiniteľa mimoriadnych zaťažení k pre jednotlivé regióny sú v tabuľke 3.5:

Tabuľka 3.5. Súčiniteľ mimoriadnych zaťažení k pre regióny.

Región	1	2	3	4
Súčiniteľ k	2,1	2,2	2,5	3,7

Poznámka: Štatistické testovanie homogenity chvostov aproximujúcich rozdelení bolo úspešné na kritickej hladine významnosti 0,05 [9]. Vykonali sa odhady tvarového parametra a Pareto rozdelenia Hillovým odhadom [10] a t-Hillovým odhadom [11]. Pre exponenciálne rozdelenie sa odhadoval škálový parameter a podľa [12]. Druhý parameter rozdelení sa dopočítaval regresnou analýzou [8]. Výsledky ukázali súlad odhadovaného parametra s nelineárnou regresiou, t.j. optimalizáciou obidvoch parametrov, ktorá ale dáva lepšie priblíženie empirickej pdf oproti odhadu jedného parametra s dopočítaním druhého regresiou [9].

Porovnanie návrhovej podmienky trvalej a prechodnej návrhovej situácie s návrhovou podmienkou mimoriadnej návrhovej situácie v podkladoch k EN 1991-1-3 [2] malo ukázať, či a od akej hodnoty súčiniteľa mimoriadnych zaťažení snehom sa mimoriadna návrhová situácia stáva rozhodujúcou. Vzhľadom na to, že sa jedná o rozhodujúce zaťaženie snehom iné premenné zaťaženia sa pre jednoduchosť neuvažovali. Návrhové podmienky ako aj eurokódmi odporúčané hodnoty parciálnych a kombinačných súčiniteľov zodpovedajú železobetónovým prvkom, aj keď zaťaženie snehom je významné najmä pre ľahké strechy priemyselných hál, teda predovšetkým oceľových konštrukcií.

V podetape 3.3 sa z porovnania návrhovej podmienky trvalej a prechodnej návrhovej situácie s návrhovou podmienkou mimoriadnej návrhovej situácie odvodzuje súčiniteľ mimoriadneho zaťaženia snehom pre reprezentatívne rámy priemyselných hál s optimalizovanými súčiniteľmi z ETAPY 05. Pri porovnávaní sa rozlišuje prípad ľahkých a ťažkých striech reprezentovaných pomocou charakteristických účinkov trvalého zaťaženia a zaťaženia snehom. Ak sa uvažia súčinitele $\gamma_G = 1,03$ alebo $1,13$ a $\gamma_S = 2,07$ ($\gamma_{M0} = 1$), čo sú zaokrúhlenia optimalizovaných hodnôt z druhej etapy optimalizácie (tab. 5.2), tak ľahkým strechám s $\gamma_G = 1,03$ zodpovedá $k = 2,08$ a ťažkým strechám $k = 2,59$. V porovnaní s tabuľkou 3.5 tak mimoriadne zaťaženie snehom môže v prvom prípade rozhodovať od regiónu 2 vyššie a v druhom až v regióne 4.

4. ETAPA 04 Výpočty kombinačných súčiniteľov ψ_1 a ψ_2 pre časté a kvázistále zaťaženie snehom

V eurokódoch sa časté a kvázistále zaťaženie snehom definuje pomocou denných hodnôt zaťaženia snehom na povrchu zeme ako zaťaženie, ktoré sa po istý počet dní v roku neprekročí [13]. Pre časté zaťaženie je to obvykle 5% dní a pre kvázistále zaťaženie 50% dní v roku. Keďže v našich klimatických podmienkach je viac ako polovica dní v roku bez snehu, určuje sa kvázistále zaťaženie ako priemer z denných hodnôt. Odporúčajú sa vyhodnotenia na meteorologických staniciach s dostatočne dlhými záznamami meraní.

Časté a kvázistále zaťaženie snehom sa určuje súčinom charakteristického zaťaženia snehom S_k a súčiniteľa ψ_1 častého resp. ψ_2 kvázistáleho zaťaženia. Časté zaťaženie – $\psi_1 S_k$ sa uplatňuje pri overovaní medzných stavov únosnosti s uvážením mimoriadnych zaťažení a pri overovaní vratných medzných stavov používateľnosti. Kvázistále zaťaženie – $\psi_2 S_k$ sa uplatňuje pri overovaní medzných stavov únosnosti s uvážením mimoriadnych zaťažení, pri overovaní vratných medzných stavov používateľnosti a pri výpočte dlhotrvajúcich účinkov medzných stavov používateľnosti.

Súčinitele ψ_1 a ψ_2 sa počítajú z databázy denných hodnôt zaťaženia snehom na 55 klimatologických staniciach (databáza bola zostavená v rámci riešenia projektu APVV). Väčšinou sa jedná o údaje z meraní od začiatku rokov 1951 až 1961 do zimy 2005/2006 včítane, menší počet staníc má kratšie záznamy. Grafické zobrazenie vypočítaných súčiniteľov ψ_1 a ψ_2 je na obrázkoch 4.1 a 4.2.

V národnej prílohe STN NA EN 1991-1-3 (2004) sa z EN 1991-1-3 preberajú pre celú oblasť Slovenska hodnoty súčiniteľov častého a kvázistáleho zaťaženia $\psi_1 = 0.5$ a $\psi_2 = 0.2$, ktoré sú určené pre severské krajiny a oblasti nad 1000 m nadmorskej výšky v iných krajinách. Pre lokality s nadmorskou výškou do 1000 m sa v EN 1991-1-3 odporúčajú súčinitele $\psi_1 = 0.2$ a $\psi_2 = 0$. Porovnaním s obrázkami 4.1 a 4.2 vidieť, že súčinitele ψ_1 a ψ_2 prevzaté do národnej prílohy sú nadhodnotené.

V našich klimatických podmienkach je možné zjednodušené prijať konzervatívne hodnoty a to pre oblasti s nadmorskou výškou do 1000 m $\psi_1 = 0.4$ a $\psi_2 = 0.08$ a pre oblasti s nadmorskou výškou nad 1000 m $\psi_1 = 0.5$ a $\psi_2 = 0.11$.

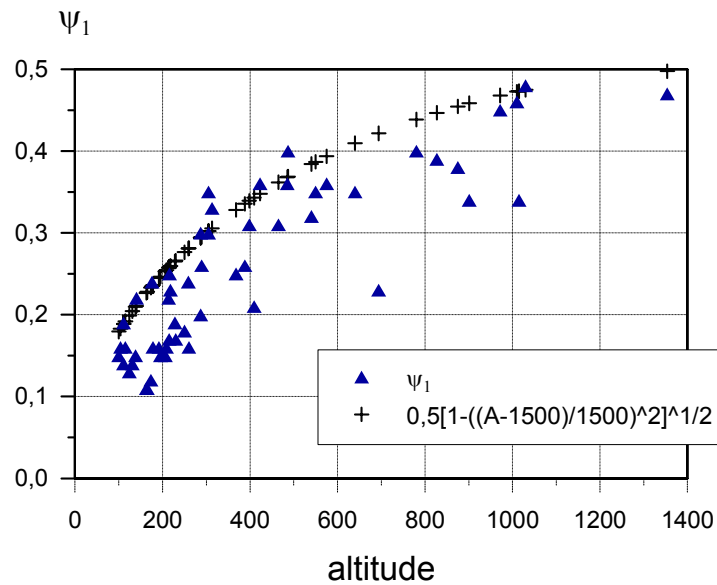
Lepšiu aproximáciu predstavuje funkčná závislosť súčiniteľov na nadmorskej výške A bez ohraničenia do a nad 1000 m. V prípade ψ_1 sa navrhuje stúpajúci oblúk elipsy

$$\psi_1 = 0,5 \left[1 - \left(\frac{A-1500}{1500} \right)^2 \right]^{1/2}; \quad \psi_1 \leq 0,5 \quad (4.1)$$

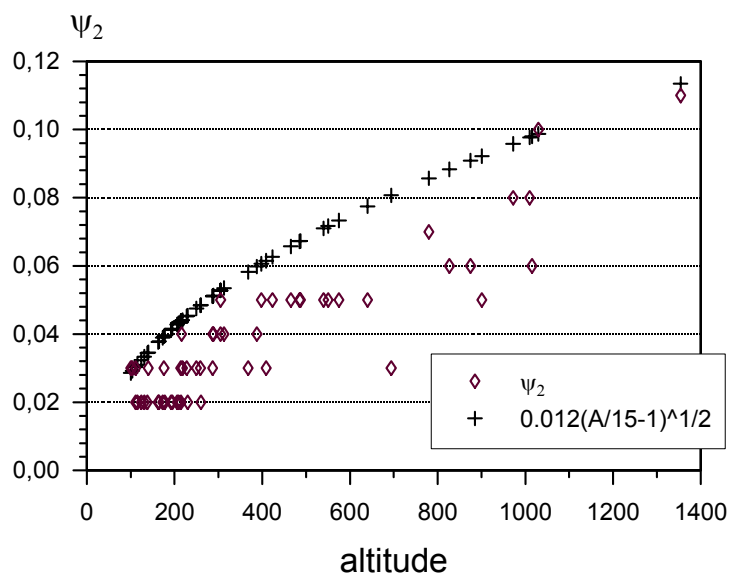
a v prípade ψ_2 parabolická závislosť

$$\psi_2 = 0,012 \left(\frac{A}{15} - 1 \right)^{1/2}; \quad \psi_2 \leq 0,12 \quad (4.2)$$

Porovnanie s vypočítanými hodnotami je na obrázkoch 4.1 a 4.2.



Obrázok 4.1. Súčiniteľ častého zaťaženia snehom ψ_1 a jeho aproximácia.



Obrázok 4.2. Súčiniteľ kvázistályho zaťaženia snehom ψ_2 a jeho aproximácia.

5. ETAPA 05: Optimalizácia parciálneho súčiniteľa γ_S a kombinačného súčiniteľa ψ_0 pre sneh na základe spracovaných klimatických údajov na reprezentatívnych stanicích

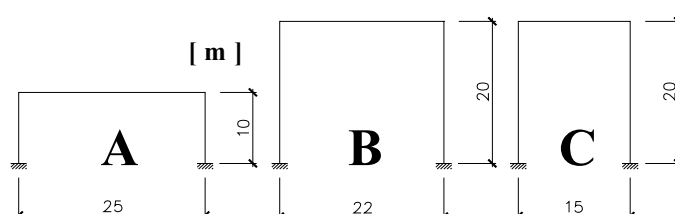
Podetapa 5.1 Testovanie pravdepodobnostných modelov zaťaženia snehom

Podetapa 5.2 Mesačné maximá zaťaženia snehom a vetrom

Podetapa 5.3 Optimalizácia parciálnych a kombinačných súčiniteľov zaťaženia snehom a vetrom na reprezentatívnych stanicích

V súvislosti s optimalizáciou parciálnych a kombinačných súčiniteľov pre návrh rámov priemyselných budov z oceľových valcovaných profilov *v klimatických podmienkach Slovenska sa testoval vhodný model zaťaženia snehom*. Východiskové údaje pre porovnanie modelov sú prevzaté z článku Schleich, Sedlacek a Kraus [14] ako mesačné extrémny zaťaženia snehom a vetrom z meraní na šiestich vybraných lokalitách v Nemecku. Pri zaťaženi snehom je aj údaj o očakávanom podiele mesiacov s výskytom snehu v roku p_S .

Z článku [14] sú tiež prevzaté rozmery reprezentatívnych portálových rámov, obrázok 5.1, pravdepodobnostné charakteristiky materiálu a funkcia medzného stavu odvodená z teórie prvého rádu. Pre rám A je rozhodujúcim zaťažením sneh a v prípade rámu C prevláda vietor. V [14] sa model zaťaženia snehom detailne nepopisuje.



Obr. 5.1. Reprezentatívne rámy [14].

Ako najvhodnejší sa vybral tzv. Poissonov „spike“ proces. Navyše tento model umožňuje uvážiť aj detailnejšie vyhodnotenie meraní denných SWE, než sú len parametre mesačných extrémov. Predpokladáme, že početnosť výskytu javu – špičkového zaťaženia snehom, chápaného ako maximum denných SWE pretrvávajúcej snehovej pokrývky od prvých zrážok, akumulácie ďalších vrstiev až po jej úplné rozpustenie, zodpovedá približne počtu mesiacov s výskytom snehu. Potom intenzita procesu ν daná strednou rýchlosťou (početnosťou) výskytu javu za jednotku času, ktorou je jeden rok je

$$v = 12 p_S, \quad (5.2)$$

a rýchlosť prekročenia bariéry a na jednotku času [15]

$$v_a^+ = F_{m,\max}(a)[1 - F_{m,\max}(a)]v \cong [1 - F_{m,\max}(a)]v, \quad (5.3)$$

keďže pre návrh sa používajú vysoké zaťaženia snehom a tým distribučná funkcia mesačných maxim zaťaženia snehom $F_{m,\max}(a) \rightarrow 1$.

Pravdepodobnosť prvého prekročenia bariéry a v časovom úseku $[0, t]$ je potom

$$p_{f1}(t, a) = 1 - \exp[-v_a^+ t], \quad (5.4)$$

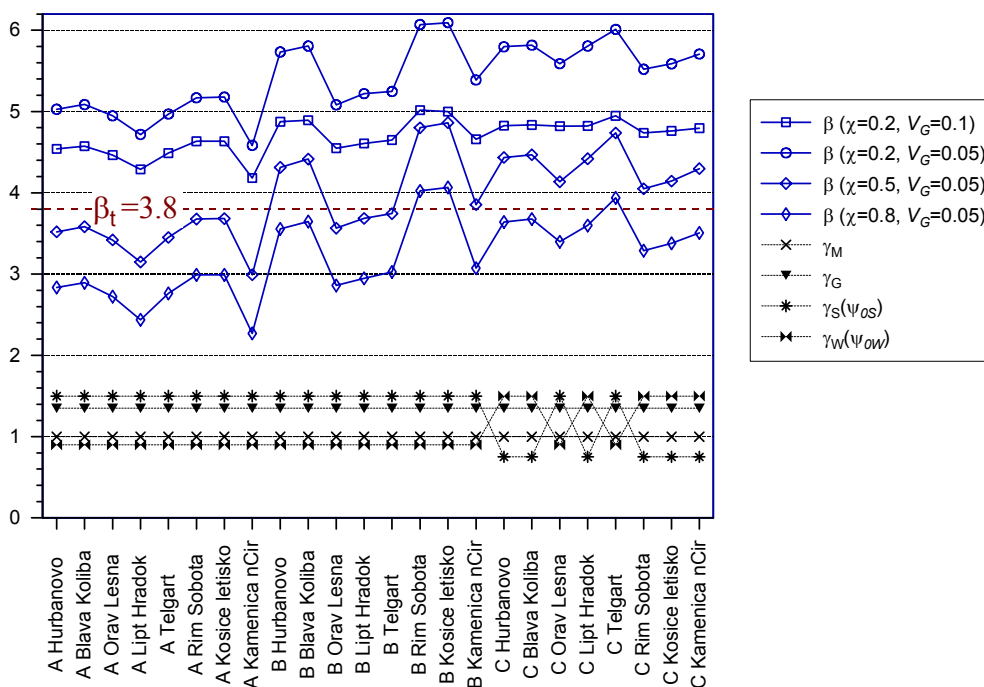
a rozdelenie maxim zaťaženia snehom [15]

$$F_{t,\max}(x) = 1 - p_{f1}(t, x) = \exp\{-[1 - F_{m,\max}(x)]vt\}. \quad (5.5)$$

Štatistické charakteristiky zaťaženia snehom a vetrom na Slovensku sa odvodzovali z meraní na ôsmich lokalitách – meteorologických stanicach reprezentujúcich naše klimatické podmienky. Z porovnania štatistických charakteristík mesačných extrémov zaťaženia snehom a vetrom vo vybraných lokalitách v Nemecku a na Slovensku sa ukázalo, že našej klíme vo všeobecnosti zodpovedajú vyššie hladiny zaťaženia snehom a nižšie hladiny zaťaženia vetrom.

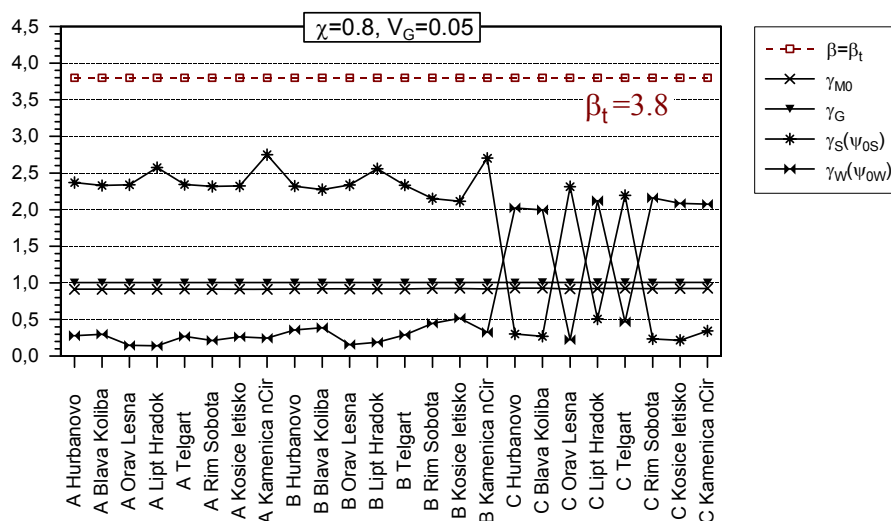
Optimalizujú sa parciálne a kombinačné súčinitele reprezentatívnych portálových rámov priemyselných budov z oceľových valcovaných profilov pre trvalé zaťaženie včítane vlastnej váhy a klimatické zaťaženia snehom a vetrom. Optimalizuje sa na cieľovú hladinu indexu spoľahlivosti $\beta_t = 3,8$ (pre návrhovú životnosť $T = 50$ rokov) pravdepodobnostnou metódou 2. úrovne – FORM. Charakteristické zaťaženie snehom na streche sa získa pre násobením uvedených hodnôt súčiniteľom 0,8. Obdobne ako pri optimalizácii na klimatické podmienky Nemecka [16] sa na účely optimalizácie parciálnych súčiniteľov zaviedla parametrizácia, ktorou sa popri ľahkých strechách (v [14] len vlastná váha) zahrnuli aj prípady stredne ťažkých a ťažkých striech, čím sa rozšírila škála návrhových situácií. Pri ťažkej streche sa uplatňujú dve hodnoty variačného koeficienta trvalého zaťaženia $V_G = 0,05$ a $0,1$. Vzhľadom na väčší počet reprezentatívnych staníc sa tak uvážilo 96 návrhových situácií.

Potrebu optimalizácie parciálnych a kombinačných súčiniteľov reprezentatívnych portálových rámov ukazuje **overovanie spoľahlivosti ich návrhu pomocou hodnôt odporúčaných eurokódmi**. Testuje sa tzv. ekonomický návrh, t.j. návrhová podmienka sa spĺňa rovnosťou odolnosti a účinkov zaťaženia. Z obrázku 5.2 vidieť nevyrovnanosť spoľahlivosti, keď navrhnuté ľahké strechy majú vo všeobecnosti vyššiu pravdepodobnosť poruchy než je cieľová hodnota ($\beta < \beta_t = 3.8$) a naopak ťažké strechy sú značne na strane spoľahlivej.



Obr. 5.2. Overovanie spoľahlivosti návrhu rámov podľa eurokódov.

Pravdepodobnostný návrh rámov na cieľovú hladinu spoľahlivosti $\beta_t = 3.8$ inverznou metódou FORM je pre ľahké strechy ilustrovaný na obrázku 5.3 zodpovedajúcimi parciálnymi a kombinačnými súčiniteľmi. Kombinačné súčinitele ψ_0 dané do zátvoriek sa aplikujú pre vedľajšie klimatické zaťaženie. Rozhodujúcou kombináciou klimatických zaťažení pri FORM overovaní spoľahlivosti je tá, ktorá dáva väčšiu pravdepodobnosť poruchy, t.j. nižšiu hodnotu β . Pri pravdepodobnostnom návrhu pomocou inverznej FORM sa aplikuje kombinácia vyžadujúca väčšiu návrhovú premennú, ktorou je nominálny plastický moment $M_{pl,nom}$.



Obr. 5.3. Pravdepodobnostný návrh rámov s $\chi = 0,8$ a $V_G = 0,05$ (ľahké trechy).

Pre návrh portálových rámov sa **v prvej etape optimalizujú** parciálne γ_G , γ_S , γ_W a kombinačné súčinitele ψ_{0S} a ψ_{0W} . Uváženie $\gamma_{M0} = 1$ umožňuje priame porovnanie optimalizovaných a štandardizovaných súčiniteľov. Optimalizovaný vektor $\boldsymbol{\gamma}$ tak predstavujú tri parciálne súčinitele a dva kombinačné súčinitele. Cieľová funkcia optimalizácie je daná výrazom:

$$\min_{\boldsymbol{\gamma}} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [\beta_j(\boldsymbol{\gamma}) - \beta_t]^2, \quad (5.6)$$

kde $N = 96$ návrhových situácií. Indexy spoľahlivosti $\beta_j(\boldsymbol{\gamma})$ sa získajú FORM overovaním spoľahlivosti rámu s návrhovou premennou $M_{pl,nom}$ určenou z rovnosti v návrhovej podmienke. Funkcia (5.6) sa minimalizuje IMSL podprogramom ZXCGR, ktorý využíva algoritmus konjugovaných gradientov. Iteračný proces končí ak suma kvadrátov zložiek aktuálneho gradientu je menšia ako 10^{-6} . Optimalizované parciálne a kombinačné súčinitele sú v tab. 5.1.

Tabuľka 5.1. Optimalizované súčinitele – prvá etapa.

γ_{M0}	γ_G	$\gamma_S(\psi_{0S})$	$\gamma_W(\psi_{0W})$	Cieľová funkcia
1	1,080	2,047(0,298)	1,742(0,187)	0,0976

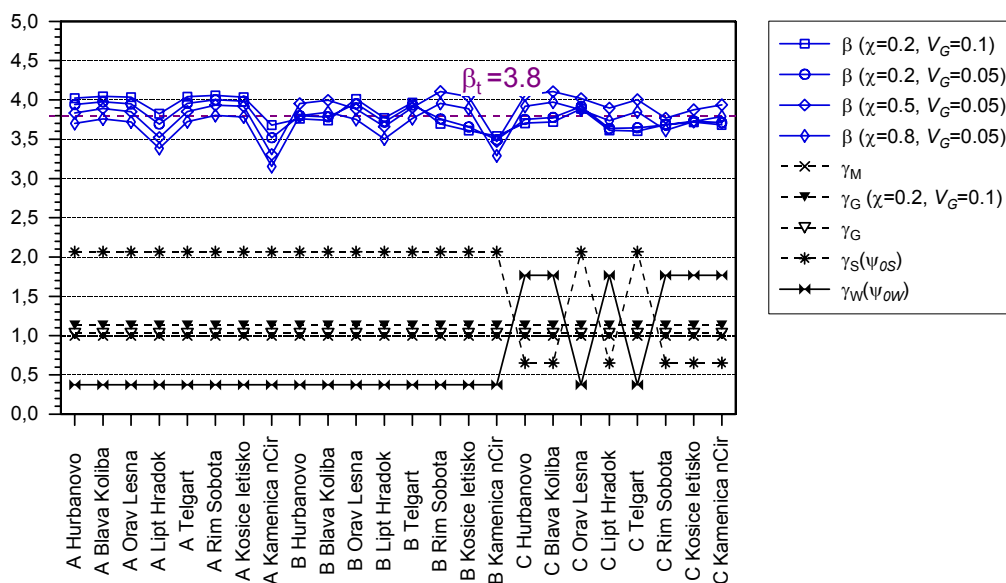
Na dosiahnutie rovnomernejšej spoľahlivosti sa **v druhej etape optimalizácie** aplikovala diferenciácia súčiniteľa γ_G pre ťažké strechy – $\chi = 0,2$ a vyššiu neurčitost' – $V_G = 0,1$ sledujúc tým postup navrhnutý v [16]. Takto sa dosiahlo pri druhej etape optimalizácie (tab. 5.2, obr. 5.4) významné zmenšenie rozptylu spoľahlivosti okolo $\beta_t = 3,8$.

Tabuľka 5.2. Optimalizované súčinitele – druhá etapa.

γ_{M0}	γ_G	γ_G ($\chi=0.2, V_G=0.1$)	$\gamma_S(\psi_{0S})$	$\gamma_W(\psi_{0W})$	Cieľová funkcia
1	1,028	1,132	2,066(0,316)	1,769(0,212)	0,0346

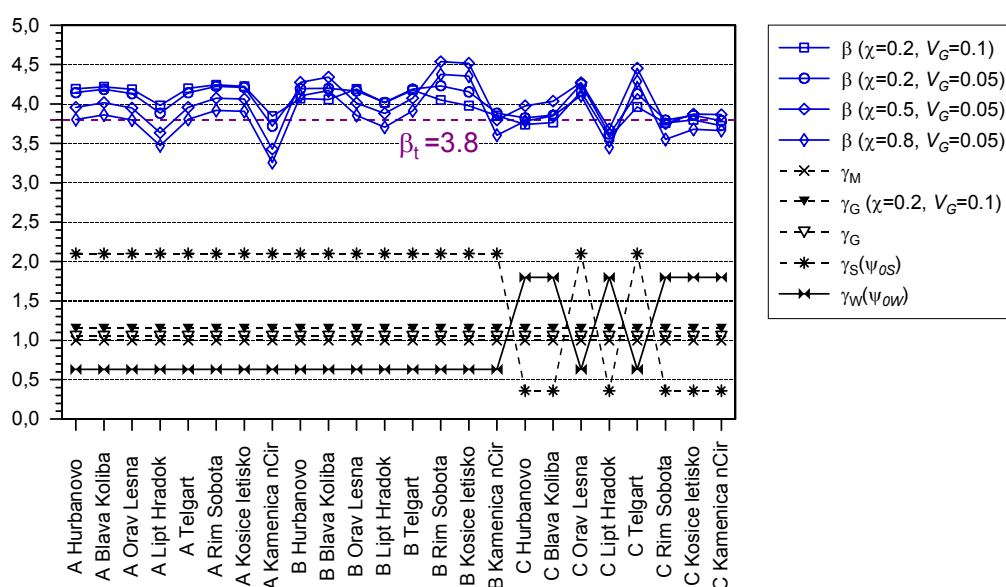
Tabuľka 5.3. Navrhované súčinitele.

γ_{M0}	γ_G	γ_G ($\chi=0.2, V_G=0.1$)	$\gamma_S(\psi_{0S})$	$\gamma_W(\psi_{0W})$
1	1,05	1,15	2,1(0,3)	1,8(0,2)



Obr. 5.4. Pravdepodobnostná optimalizácia parciálnych a kombinačných súčiniteľov pre návrh rámov, druhá etapa – diferenciácia γ_G .

Na základe výsledkov optimalizácie sa navrhujú (zaokrúhlením) súčinitele uvedené v tabuľke 5.3. V prípade kombinácie s iným zaťažením než sú uvažované sa odporúča použiť kombinačné súčinitele z STN EN 1990, tab. A1.1. Výsledky overovania spoľahlivosti reprezentatívnych rámov navrhovaných podľa parciálnych a kombinačných súčiniteľov z tabuľky 5.3 je na obrázku 5.5.



Obr. 5.5. Overovanie spoľahlivosti rámov navrhovaných podľa parciálnych a kombinačných súčiniteľov z tabuľky 5.3.

6. ETAPA 06: Transformácia námrazovej mapy z r. 1980 na súčasnú definíciu charakteristických hodnôt. Sumarizovanie dostupných meraní a pozorovaní námrazy a hodnotenie ich použiteľnosti pre zostavenie novej mapy.

Podetapa 6.1 Aktualizácia námrazovej mapy

Podetapa 6.2 Sumarizovanie a hodnotenie meraní a pozorovaní námrazy

STN 73 0035 Zaťaženie stavebných konštrukcií (1991) prebrala námrazovú mapu z ČSN 73 0035 (1988). V roku 2010 bola slovenská časť mapy začlenená do národnej prílohy k STN EN 1991-1-4 Všeobecné zaťaženia. Zaťaženie vetrom formou zmeny: STN EN 1991-1-4/NA/Z1: 2010, pozri obrázok 6.1. V námrazovej mape sa rozlišujú 4 námrazové oblasti: ľahká (L), stredná (S), ťažká (T) a kritická (K). Ku každej oblasti sú tabuľkou NC.2 normy priradené dve základné hrúbky námrazy v milimetroch zodpovedajúce strednej dobe návratu 5 a 10 rokov [18]. Základné hrúbky námrazy predstavujú 80 % a 90 % -né fraktily vhodnej distribučnej funkcie ročných extrémov. Pre obvykle aplikované dvojparametrické Gumbelovo rozdelenie maxim je z týchto údajov možné *aktualizovať námrazovú mapu na eurokódmi definovanú charakteristickú hodnotu klimatického zaťaženia* zodpovedajúcu strednej dobe návratu 50 rokov. Výsledky transformácie základných hrúbok námrazy pôvodnej mapy na súčasnú definíciu charakteristickej námrazy sú v tabuľke 6.1. Prvé tri stĺpce tabuľky 6.1 zodpovedajú údajom v tabuľke NC.2 z STN EN 1991-1-4/NA/Z1: 2010. Nasleduje variačný koeficient a stredná hodnota Gumbelovho rozdelenia pre príslušnú námrazovú oblasť. V predposlednom stĺpci sú aktualizované charakteristické hrúbky námrazy v milimetroch a v poslednom stĺpci ich navrhované zaokrúhlenie. V súlade s tabuľkou NC.3, resp. tab. 30 pôvodnej ČSN normy sa uvádzané charakteristické hrúbky námrazy vzťahujú na výšku 10 m nad terénom.

Tab. 6.1 Výpočty aktualizovaných charakteristických hrúbok námrazy.

Námrazová oblasť	Hrúbka námrazy [mm]	P_1 P_2	V	μ	Char. hrúbka [mm]	Návrh Char. hrúbky
Ľahká (L)	5	0,8	7,4439	1,1480	21,00	20
	10	0,9				
Stredná (S)	10	0,8	2,2184	3,8520	26,00	25
	15	0,9				
Ťažká (T)	15	0,8	0,9654	8,8520	31,00	30
	20	0,9				

Poznámka: Parciálny súčiniteľ zaťaženia námrazou je v článku 245 normy STN 73 0035 (1991) stanovený hodnotou 1,3 a prevzatý aj do STN EN 1991-1-4/NA/Z1: 2010, čo je menej ako v eurokódoch odporúčaná hodnota 1,5 pre klimatické zaťaženie. Návrh v súlade s eurokódmi je tak spoľahlivejší vďaka väčšej charakteristickej hrúbke námrazy a aj väčšiemu parciálnemu súčiniteľu.

Merania a pozorovania námrazy sa systematicky vykonávajú ako súčasť meteorologických a klimatologických meraní realizovaných v Slovenskom hydrometeorologickom ústave (SHMÚ). Rozlišujú sa námrazové javy: **inovať**, **zrnitá námraza**, **ľadovica** alebo **zamrznutý mokrý sneh**. Klimatologické hodnotenie intenzity zrnitej vrstvy (námrazy) a ľadovice vyjadruje nasledujúca klasifikácia v Tabuľke 6.2. Určovanie intenzity námrazy a ľadovice sa riadi rozmermi hrúbky vrstvy. Pod hrúbkou vrstvy sa rozumie kolmá vzdialenosť od podkladu, na ktorom sa jav pozoruje a meria, ku povrchu námrazy alebo ľadovice.

Tab. 6.2. Kritériá klimatologického hodnotenia intenzity zrnitej námrazy a ľadovice [19].

Intenzita javu	Hrúbka zrnitej námrazy	Hrúbka ľadovice
0 – slabá	menej ako 1 cm	menej ako 0,5 cm
1 – mierna	od 1 do 3 cm	od 0,5 do 1 cm
2 – silná	viac ako 3 cm	viac ako 1 cm

V súčasnom období merania a pozorovania námrazy na území SR sa v správe a metodickom vedení SHMÚ vykonávajú v troch rôznych metodikami a frekvenciami meraní a pozorovaní na meteorologických, klimatologických a zrážkomerných staniciach.

1) Klimatologické a zrážkomerné stanice – realizujú pozorovania námrazových javov, t.j. zaznamenávajú sa začiatky a ukončenia námrazy a ľadovice spolu s odhadom ich kvantity a následnou klasifikáciou intenzity javu tak, ako sa uvádza v Tab. 6.2. Údaje sa nedigitalizujú. V meteorologicko-klimatologickom databázovom informačnom systéme SHMÚ (KMIS) sú dostupné len klimatologické údaje o existencii námrazového javu bez ohodnotenia intenzity.

2) Účelové merania námrazy – tieto merania sa v súčasnosti realizujú iba na 2 horských staniciach (Chopok a Lomnický štít), ktoré nereprezentujú typické podmienky tvorby námrazy v hospodárskych oblastiach SR. Zhodnotenia dlhých radov pozorovaní námrazy z týchto dvoch horských meteorologických staníc boli vykonané v ostatnom období [20].

Obdobné účelové merania námrazových javov na vybraných klimatologických staniciach SHMÚ v rozsahu súčasných účelových meraní boli v minulosti väčšinou krátkodobé a

obdobia meraní asynchrónne. Uvedený súbor meraní bol ukončený okolo roku 1980, výsledky sú uložené v papierovej forme v archíve SHMÚ.

3) Profesionálne meteorologické stanice SR – realizujú pozorovania druhu námrazových javov a určuje sa priemer námrazových javov v dennom režime meraní s maximálnou frekvenciou meraní 1 h intervalov. Získané výsledky meteorologických meraní a pozorovaní sú poskytované používateľom v operatívnom režime ako súčasť medzinárodného štandardizovaného informačného systému meteorologických údajov – správa SYNOP [21].

Údaje zo SYNOP sa od roku 1995 archivujú v databáze KMIS, v súčasnosti sú aj validované a k dispozícii pre odborných používateľov.

Zoznam profesionálnych synoptických staníc v SR s geografickou špecifikáciou a obdobím merania námrazy je v Tab. 6.3. O zaradení javu do správy SYNOP rozhoduje aktuálny výskyt akejkoľvek vrstvy námrazových javov v termíne pozorovania, t.j. aj nemerateľnej. V správe sa jednotlivé druhy námrazových javov klasifikujú v nasledujúcom delení a kódovaní:

- 4 - priemer vrstvy iba ľadovice
- 5 - priemer vrstvy iba námrazy alebo priesvitnej námrazy alebo inovati
- 6 - priemer vrstvy námrazových javov zložených z viacerých druhov
- 7 - priemer vrstvy iba lepkavého snehu .

Priemer vrstvy námrazového javu RR je daný maximálnou vzdialenosťou D pozdĺž osi rezu vrstvou námrazového javu, zmenšenú o priemer d námrazomernej tyče alebo drôtu, na ktorom sa meranie robí, teda $RR = D - d$. Údaj RR poskytuje približnú informáciu o celkovej vrstve námrazového javu.

Na účely navrhovania konštrukcií sa uvažujú len výskyty námrazových javov s priemerom ≥ 1 mm . Za **deň s námrazou** sa považuje deň, v ktorom najmenej 1-krát v ľubovoľnej hodine dňa bol určený námrazový jav ≥ 1 mm. Pri **hodnotení námrazového javu**, sa posudzuje celková vrstva námrazového javu, nielen posledný druh námrazového javu.

Na **zostavenie novej námrazovej mapy** sa overením stavu dostupných podkladových údajov z hľadiska obsahu, kompletnosti, kvality a stupňa digitalizácie sa dospelo k záveru, že na predmetný účel sú v databáze KMIS v SHMÚ vhodné údaje o druhu a priemere určeného námrazového javu na 26 profesionálnych staniaciach SR (Tab. 6.3) a tiež na 7 synoptických staniaciach v prihraničnej oblasti ČR, prevažne z obdobia 1995 – 2010.

Z uvedenej databázy boli vypísané a spracované údaje o dátume začiatku a trvaní jednotlivých námrazových javov v dennom kroku s určením maximálnych priemerov námrazovej vrstvy počas trvania jednotlivých súvislých epizód námrazy. V súlade s normou

zaťaženia sa uviedli údaje o maximálnej rýchlosti a priemernom smere vetra v dňoch s výskytom maximálneho priemeru námrazy. Následne boli spracované maximálne a priemerné hodnoty priemerov vrstvy námrazy a dĺžok trvania námrazových javov v jednotlivých sezónach v rokoch 1995 – 2010. Sezónou sa rozumie obdobie 1 roku v trvaní od 1.7. do 30.6. roku nasledujúceho, pričom v práci sa takáto perióda označuje hodnotou roku nasledujúceho. Výsledky umožnili orientačnú predstavu o početnosti a intenzite námrazových javov v SR a návrh výpisu údajov potrebných na charakterizovanie námrazy modelom ročných (v zmysle sezónnych) maxim, maximami pri výskyte javu („event based maxima“) a jednoduchými náhodnými procesmi. Príklad navrhovaného výpisu základných údajov potrebných pre účely spracovania novej námrazovej mapy je v tabuľke 6.4 (PVNJ - priemer vrstvy námrazového javu).

Tab. 6.3. Profesionálne synoptické stanice v SR s obdobiami merania námrazy.

Porad. číslo	Meteorologická stanica	Severná zemepisná šírka			Východná zemepisná dĺžka			Nadm. výška [m]	Meranie a pozorovanie námrazy	Obdobie archivácie údajov v DB KMIS
		°	'	''	°	'	''			
1	Bofkovce	48°	20'	20''	19°	44'	11''	214	áno	1995 - 2010
2	Bratislava - Koliba	48°	10'	07''	17°	06'	38''	286	áno	1995 - 2010
3	Bratislava - letisko	48°	10'	18''	17°	12'	00''	133	áno	1995 - 2010
4	Dolný Hričov	49°	13'	55''	18°	37'	04''	309	áno	1995 - 2010
5	Dudince	48°	10'	09''	18°	52'	34''	139	áno	1995 - 2010
6	Gánovce	49°	02'	06''	20°	19'	27''	703	áno	2000 - 2007
7	Hurbanovo	47°	52'	24''	18°	11'	40''	115	áno	1995 - 2010
8	Chopok	48°	56'	38''	19°	35'	32''	2005	áno	1995 - 2010
9	Jaslovské Bohunice	48°	29'	12''	17°	40'	15''	176	áno	1995 - 2010
10	Kamenica nad Cirochou	48°	56'	20''	22°	00'	22''	176	áno	1995 - 2010
11	Kojšovská Hoľa	48°	46'	58''	20°	59'	20''	1242	áno	1995 - 2010
12	Košice - letisko	48°	40'	20''	21°	13'	21''	230	áno	1995 - 2010
13	Kuchyňa - Nový Dvor	48°	24'	05''	17°	08'	52''	206	áno	1995 - 2010
14	Liesek	49°	22'	10''	19°	40'	46''	692	áno	1995 - 2010
15	Lomnický štít	49°	11'	43''	20°	12'	54''	2635	áno	1995 - 2010
16	Milhostov	48°	39'	47''	21°	43'	26''	105	áno	1995 - 2010
17	Mochovce	48°	17'	22''	18°	27'	22''	261	áno	1995 - 2010
18	Nitra - Veľké Janíkovce	48°	16'	50''	18°	08'	08''	135	áno	1995 - 2010
19	Piešťany	48°	36'	47''	17°	49'	58''	163	áno	1995 - 2010
20	Poprad	49°	04'	08''	20°	14'	44''	694	áno	1995 - 2010
21	Prešov-vojsko	49°	01'	55''	21°	18'	31''	307	áno	1997 - 2010
22	Sliač	48°	38'	33''	19°	08'	31''	313	áno	1995 - 2010
23	Štrbské Pleso	49°	07'	10''	20°	03'	48''	1322	áno	1995 - 2010
24	Telgárt	48°	50'	55''	20°	11'	21''	901	áno	1995 - 2010
25	Tisinec	49°	12'	56''	21°	39'	00''	216	áno	1995 - 2010
26	Prievidza	48°	52'	42''	18°	02'	54''	260	áno	1995 - 2010

Využitie dostupných krátkodobých radov synoptických údajov meraní a pozorovaní námrazových javov (cca 15 ročné rady) pre tvorbu novelizovanej námrazovej mapy SR na základe hodnotiacich kritérií námrazových typov a ich klasifikácii podľa normy ISO 12494

[22] a COST 727 [23] je možné. **Klasifikácia charakteristickej námrazovej záťaže** – určenie **IC (ice class)** podľa [22] a [23] vyžaduje ďalšie štatistické spracovanie – určenie hodnôt námrazy v danej lokalite so strednou dobou návratu 50 rokov a tiež modelovanie určovania (odhadu) hustoty námrazových produktov (zrnitá námraza) napríklad pomocou údajov o rýchlosti vetra a teplote vzduchu počas tvorby námrazového javu [22, 23].

Tab. 6.4. Príklad výpisu námrazových javov (NJ) – stanica Kamenica nad Cirochou.

Začiatok NJ	Trvanie NJ [počet dní]	Druh NJ	Max PNNJ počas NJ [mm]	Max rýchlosť vetra počas NJ [m/s]	Priem smer vetra [x10] v dni s max PVNJ
04.01.97	1	4	1	0	0
08.01.97	1	5	2	2	10
14.01.97	2	4	2	1	18
16.01.97	1	5	1	2	28
16.01.97	1	6	2	2	27
17.01.97	4	4	2	4	13
24.01.97	2	4	1	6	35
27.01.97	2	5	2	1	1
09.02.97	1	5	10	1	11
11.02.97	1	5	4	1	13
15.02.97	1	4	1	1	25
15.02.97	1	6	1	2	21
18.02.97	1	5	3	0	0
20.02.97	1	5	3	4	13
06.04.97	1	7	20	5	18
18.10.97	1	5	2	0	0
24.10.97	1	5	1	1	1
01.11.97	1	5	2	1	11
10.12.97	1	5	1	5	17
19.12.97	1	4	1	5	16

7. LITERATÚRA

- [1] BOHÁČ, A.: Revize mapy sněhových oblastí v ČSN 73 0035 "Zatížení konstrukcí pozemních staveb". Staveb. Čas. VEDA 23(1975), 11, 840-862.
- [2] SANPAOLESI, L. et al. Phase 1 Final Report to the European Commission, Scientific Support Activity in the Field of Structural Stability of Civil Engineering Works: Snow Loads, Department of Structural Engineering, Univ. of Pisa 1998.
- [3] SADOVSKÝ, Z., FAŠKO, P., PECHO, J., BOCHNÍČEK, P., MIKULOVÁ, K. a ŠŤASTNÝ, P. Collection and analysis of climatic measurements for the assessment of snow loads on structures, Int. J. of Reliability, Quality and Safety Engineering, 14(2007), 6: 603–615.
- [4] SADOVSKÝ, Z. – FAŠKO, P. – PECHO, J. – BOCHNÍČEK, P. – MIKULOVÁ, K. – ŠŤASTNÝ, P.: Niektoré poznatky zo štatistických vyhodnotení zaťaženia snehom. In 33. Aktív pracovníkov odboru OK: Teoretické a konštrukčné problémy oceľových a drevených konštrukcií. Kovové, spriahnuté a drevené konštrukcie a mosty. Ošľadnica, 3.-5.10.2007, KSKM SvF Žilinská univerzita, Žilina, 2007, p.123-128.
- [5] SADOVSKÝ, Z. Mean value trend in probabilistic assessment of snow load annual maxima. In Risk, Quality and Reliability (RQR 2007), Radim Briš (ed.), Ostrava, September 20-21, TU Ostrava 2007, 155-158.
- [6] SADOVSKÝ, Z., FAŠKO, P., MIKULOVÁ, K. a PECHO, J. Special features of the collection and analysis of snow loads. In: Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications, In ESREL 2008 Valencia, eds. Martorell, S. – Guedes Soares, C. – Barnett, J., Taylor & Francis Group, London, Vol. 2(2009), 1671-1675.
- [7] MIKULOVÁ, K., FAŠKO, P., PECHO, J. a ŠŤASTNÝ, P. Objective Spatial Analysis of Water Equivalent of Snow Cover in Slovakia, In Bioklimatologické pracovné dni 2006, Strečno.
- [8] SADOVSKÝ, Z., FAŠKO, P., MIKULOVÁ, K. a PECHO, J. 2010. Assessment of accidental snow loads for the design of structures. In: ESREL 2010 Reliability, Risk and Safety – Ale, Papazoglou & Zio (eds) © 2010 Taylor & Francis Group, London, 1549-1552, CD, ISBN 978-0-415-60427-7.
- [9] STEHLÍK, M. – SADOVSKÝ, Z. 2010. Statistical analysis of exceedances related to the accidental snow loads, In: ESREL 2010 Reliability, Risk and Safety – Ale, Papazoglou & Zio (eds) © 2010 Taylor & Francis Group, London, 1210-1215, CD, ISBN 978-0-415-60427-7.

- [10] HILL, B. 1975. A simple general approach to inference about the tail of a distribution. *Annals of Statistics*, 3(5):1163–1174.
- [11] FABIÁN, Z. & STEHLÍK, M. 2009. On robust and distribution sensitive Hill like method, IFAS res. report Nr.43.
- [12] BALAKRISHNAN, N. & BASU, A. P. 1996. *The Exponential Distribution: Theory, Methods, and Applications*. New York: Gordon and Breach.
- [13] SANPAOLESI, L. et al. Phase 2 Final Report to the European Commission, Scientific Support Activity in the Field of Structural Stability of Civil Engineering Works: Snow Loads, Department of Structural Engineering, Univ. of Pisa 1999.
- [14] SCHLEICH, J.B., SEDLACEK & G., KRAUS, O. Realistic Safety Approach for Steel Structures, In: Eurosteel, Coimbra, 2002, 1521-1530.
- [15] MELCHERS, R.E. *Structural Reliability Analysis and Prediction*, (John Willey & Son, Chichester, 1999).
- [16] SADOVSKÝ, Z. - PÁLEŠ, D. Probabilistic optimization of partial safety factors for the design of industrial buildings. In *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 2008, vol. 15, no. 5, p. 411-424. ISSN 0218-5393.
- [17] SAKO: Basis of Design of Structures. Proposal for Modification of Partial Safety Factors in Eurocodes. NKB, Oslo 1999, 85 strán.
- [18] TICHÝ, M. s kol. : Zatížení stavebních konstrukcí. TP 45, SNTL, Praha 1987, 466s.
- [19] SLABÁ, N.: Návod pre pozorovateľov meteorologických staníc ČSSR, Zborník predpisov III, HMÚ Bratislava, 1976.
- [20] OSTROŽLÍK, M., et al.: Relation between atmospheric icing and some meteorological characteristics at high-mountain sites in Slovakia and Bulgaria. 13th International Workshop on Atmospheric icing of structures IW AIS 2009 and Final Workshop of the COST Action 727, Andermatt, Switzerland, Sept. 7-12, 2009.
- [21] ZÁHUMENSKÝ, I.: Metodický predpis SHMÚ č.3 FM SYNOP, Interný dokument SHMÚ, Bratislava 2003.
- [22] Kolektív autorov: Atmospheric icing of structures, International Standard ISO 12494, First edition, 2001-08-15.
- [23] FIKKE, S., et al.: COST 727: Atmospheric Icing on Structures Measurement and data collection on icing: State of the art, Bundes Amt fuer Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz, 2007.

8. VYUŽITIE VÝSLEDKOV RIEŠENIA ÚLOHY VÝSKUMU A VÝVOJA

Všeobecným cieľom riešenia predmetnej úlohy VaV je **prispieť k dosiahnutiu eurokódmi požadovanej spoľahlivosti konštrukcií vystavených účinkom zaťaženia snehom s prihliadnutím na hospodárnosť ich návrhu a využívania.**

Výsledkom riešenia je vytvorenie systematických vedeckých podkladov v oblasti navrhovania a posudzovania stavebných konštrukcií na účinky zaťaženia snehom. Na základe týchto podkladov sa dá **prístupíť k návrhu konkrétnych článkov a predpisov noriem, resp. národných parametrov**, následne ku schvaľovaciemu procesu cestou SÚTN a komunikácii výsledkov na národnej a nadnárodnej úrovni.

Využitie výsledkov úlohy VaV je možné:

- pri odbornej činnosti Ministerstva dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky a iných ústredných orgánov, samosprávnych orgánov rôznych úrovní, a to predovšetkým pri
 - . normotvornej činnosti,
 - . vypracovaní ďalších odborných a analytických materiálov a riešení operatívnych úloh na základe priebežných požiadaviek.
- v podnikateľskej sfére stavebníctva pri navrhovaní stavebných konštrukcií formou
 - . odborných analytických a koncepčných podkladov, námetov, orientácií a konzultácií pre stavebné inštitúcie a ďalšie firmy, podnikateľské zväzy (napr. SKSI) a ďalšie obdobné subjekty, potenciálnych investorov, podnikateľské firmy v oblasti stavebníctva
 - .
- pri odbornej a publikačnej činnosti, v ďalšej výskumnej a vzdelávacej činnosti.